

EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS PUENTES DE ACERO DE LA RED VIAL DE COLOMBIA

Edgar Muñoz¹ y Edgar Valbuena²

Resumen: Este artículo pretende estudiar en detalle el estado y los daños típicos de los puentes en acero y en estructura mixta (acero y concreto) de la Red Vial Nacional de Colombia. El estudio está basado en la evaluación del inventario y las inspecciones realizadas por el Instituto Nacional de Vías (Invias) desde el año de 1996, a través del Sistema de Administración de Puentes de Colombia (Sipucol). El artículo se divide en dos (2) partes: en la primera se presenta una descripción de las diferentes tipologías de los puentes en acero basados en el módulo de inventario del Sipucol y en la segunda el estado y los daños típicos de los componentes principales. De los doscientos cuarenta y cuatro (244) puentes en acero que hacen parte de la Red Vial Nacional, se encontraron deficiencias estructurales, corrosión generalizada y parcial, infiltración, detallado no adecuado de las uniones, identificación de problemas de fatiga en uniones y regular calidad de las uniones soldadas. Este documento constituye una base para una futura y más completa investigación, con el objeto de avanzar en el tema de la inspección detallada y conservación de puentes de acero, estructuras vitales en la infraestructura vial.

Palabras Claves: Tipología de puentes, puentes de acero, daños típicos en puentes, inspección visual, corrosión y fatiga

EVALUATION OF THE CONDITION OF STEEL BRIDGES OF THE COLOMBIAN NATIONAL ROADWAY NETWORK

Abstract: This paper studies in detail the structural condition and typical damages in steel and composite (concrete plus steel) bridges of the National Roadway Network of Colombia. The study is based on the inventory and the inspections made since 1996, by the Colombian Government's Roads Institute (Invias) throughout the Colombian Bridge Management System (Sipucol). This paper is divided in two parts: the first one presents a brief description of the different types of steel bridges and composite structures based on the Sipucol inventory module and the second one presents the condition and typical damages of the main components. Of the 244 steel and composite structures bridges of the National Roadway Network, they present structural deficiencies, widespread and partial corrosion, infiltration, in appropriate union details, indication of fatigue problems in the unions and poor quality of welded unions. It is considered that this paper conserve of the basis for a further and more comprehensive investigation in order to advance the detailed inspection and conservation of steel bridges, structures that have a vital importance for the transportation infrastructure.

Keywords: Bridges of classification, steel bridges, typical damages in bridges, visual inspection, corrosion and fatigue

INTRODUCCIÓN

Son diversos los colapsos de puentes vehiculares y peatonales en Colombia; problema que debe ser objeto de reflexión y análisis por parte de la ingeniería nacional para evaluar las causas fundamentales y las correspondientes soluciones. Para esto se requiere avances en la investigación y el desarrollo tecnológico, especialmente en los temas de

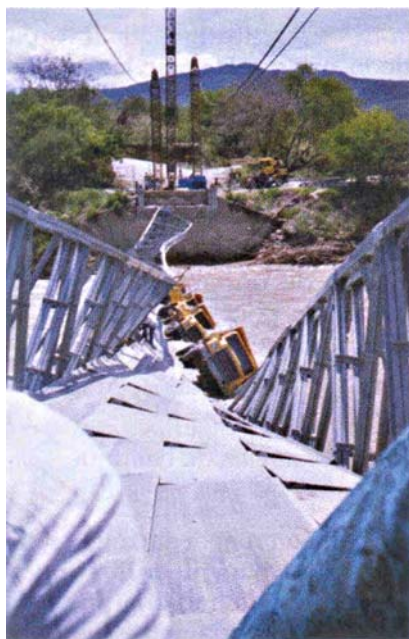
¹ Profesor e investigador, M.S.c. Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Carrera 7 No. 40 – 62, Bogotá, Colombia. edgar.muñoz@javeriana.edu.co

² Joven investigador, I.C. Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Carrera 7 No. 40 – 62, Bogotá, Colombia. edgar.valbuena@javeriana.edu.co

inspección, auscultación profunda, instrumentación y capacidad de carga de puentes. Los efectos negativos desde el punto de vista económico, social y político que produce la caída de un puente son enormes y deben preocupar tanto a las entidades públicas y privadas (concesiones) responsables de la administración, como a los ingenieros que lo evalúan, diseñan y construyen. En el artículo preparado por Muñoz (2001), se encontró que el **14%** de los puentes de la red vial nacional de Colombia fallaron por deficiencias estructurales, de acuerdo con la evaluación de una muestra estadística de sesenta y tres (63) casos de colapsos y que la mayoría correspondían a puentes en acero.

El artículo antes mencionado se basó en la información de diversos estudios contratados por el Instituto Nacional de Vías a la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá y Medellín), para evaluar las causas de las fallas de algunos puentes metálicos (véase la Figura 1) y de concreto de la red Vial Nacional (Samana-1993, Los Angeles-1994, Heredia-1995, Pescadero-1996, Purnio-1996, Maizaro-1997, Recio-1998), detectando las siguientes deficiencias estructurales generales en los de acero:

- En los puentes de arco, los elementos principales no cumplen con relaciones ancho-espesor (pandeo local) y presentan esfuerzos actuantes mayores a los permitidos. Además presentan elementos de arco diseñados solamente a compresión y no revisados para efectos combinados de flexión biaxial más compresión.
- Para la evaluación de algunos de los puentes en arco, se realizaron modelos estructurales incompletos, que no contemplan todas las características mínimas para un adecuado análisis y diseño.
- Además se ha hecho en algunos una selección errónea de la longitud efectiva (K) para la evaluación del pandeo general de la parte inicial de los elementos de un arco.
- A los puentes de armadura de paso a través, no se les ha hecho una evaluación adecuada de la estabilidad lateral.
- Se observó deficiencia de análisis, diseño y fabricación de las uniones.
- Los estudios de actualización y rehabilitación de puentes de armaduras solamente incluyeron el refuerzo de los elementos principales (cordón superior, inferior, armaduras, etc), sin tener en cuenta la actualización estructural de las uniones (pernadas, soldadas, atornilladas, etc).
- En algunos casos no se ha considerado el estudio del fenómeno de la fatiga para el diseño y revisión, tanto de los elementos como de las uniones.
- Por la falta de mantenimiento preventivo y rutinario, se presentan fenómenos de corrosión que afectan la capacidad de la estructura metálica.
- Se hallaron soldaduras sin un adecuado diseño y con deficiencias desde la fabricación por falta de controles de calidad.



(a) Puente Los Ángeles.



(b) Puente Pescadero.

Figura 1: Algunos puentes colapsados en acero.

Basado en lo anterior, es indispensable estudiar en detalle el estado y los daños típicos de los puentes en acero de la Red Vial Nacional; trabajo que se expone en el presente artículo, basados en la evaluación del inventario y las inspecciones realizadas por el Invia desde el año 1996 a través de Sipucol. Este sistema de administración está conformado por los módulos de Inventario (Invia y DCD, 1996), inspección principal (Invia y DCD, 1996a), inspección especial (Invia y DCD, 1996b), inspección rutinaria y capacidad de carga. El módulo de inspección principal consiste en una inspección visual para la evaluación de cada uno de los componentes del puente, donde se identifica el estado de la estructura, los tipos de daños y las reparaciones necesarias. La inspección especial se basa en auscultaciones profundas de la estructura que incluyen ensayos especializados de patología realizados en el campo y en laboratorio.

Este artículo consta de dos partes: en la primera se hace una descripción de las diferentes tipologías (basado en el módulo de inventario del Sipucol) y en la segunda se describen los daños típicos frecuentes (basado en el módulo de inspección principal de Sipucol) de los puentes en acero que hacen parte de la Red Vial Nacional. Ésto se considera como un trabajo inicial, que sirve de base para la investigación relacionada con la inspección y la conservación de este tipo de estructuras en acero.

INVENTARIO Y TIPOLOGÍA DE LOS PUENTES DE ACERO

La Red Vial Nacional de Colombia cuenta actualmente con aproximadamente 2100 puentes, de los cuales el **3%** corresponden a superestructuras en acero y el **8%** a superestructuras tipo mixtas (acero y concreto). En la Figura 2 se observa la distribución de estos puentes de acuerdo con el material, donde se aprecia que la mayor parte son en concreto reforzado (**63%**) y preesforzado (**24%**).

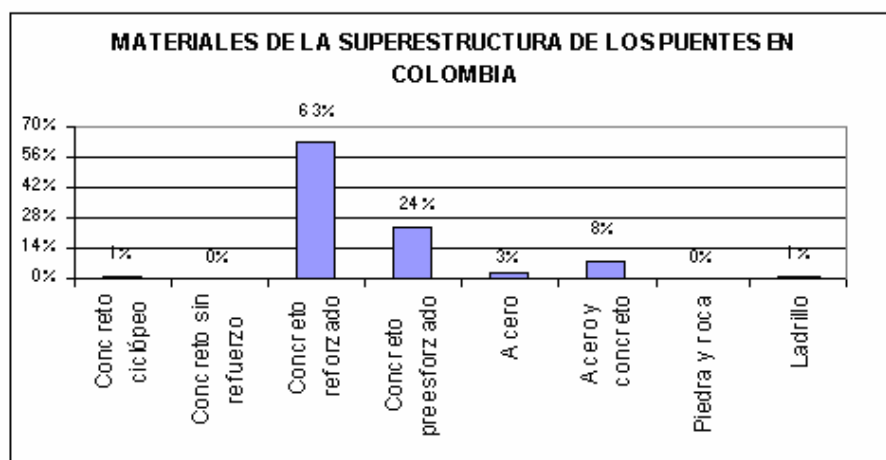


Figura 2: Distribución de los materiales principales de la superestructura (Muñoz, Valbuena, y Hernández, 2004)

A partir del año 1996 el INVIAS ha administrado un total de 222 puentes en acero y desde el 2001 un total de 245. En la Figura 3 se observa la distribución de los puentes en estructura metálica en Colombia, donde la mayoría están ubicados en las Regionales del Meta (**9%**) y Norte de Santander (**8.6%**). Véase en la Tabla 1 la distribución en detalle. Esta información es parte del sistema de información geográfica, el cual está implementando en Invias.

El módulo de inventario de Sipucol contiene tres aspectos fundamentales con los cuales se puede clasificar las superestructuras de los puentes: material, estructuración transversal y longitudinal. En la Figura 4 se aprecia la distribución de los puentes de acero clasificados de acuerdo con la estructuración transversal, donde los de armadura de paso inferior (**16%**), a través (**18%**) y de viga y losa de sección mixta (**18%**) son los que más hacen parte de la Red Vial Nacional. Con el objeto de ilustrar los diferentes tipos de estructuración transversal, se presentan fotos de cada tipo de estos puentes (véanse las Fotos de la 1 a la 12), localizados en las vías principales.

Con relación a la estructuración longitudinal se encontró que la mayoría de los puentes (**61%**) son simplemente apoyados con sección constante, y que el **8%** son colgantes y el **3%** atirantados (Véase la Tabla 2). En las Fotos 13 y 14 se presentan ejemplos de puentes de la Red Vial Nacional de un pórtico de sección variable (véase Foto 13) y otro atirantado (véase la Foto 14). En la Tabla 2 también se indica el tipo y número de juntas de expansión de los puentes de acero, donde hay especialmente juntas de placas de acero (**10%**), placas verticales con ángulos de acero (**30%**) y juntas dentadas (**16%**).



Figura 3: Mapa de la distribución de puentes de acero de la red vial nacional.

Tabla 1: Distribución de los puentes de acero de la red vial nacional.

Departamento	Puentes de Acero	%
Meta	22	9,0%
Norte de Santander	21	8,6%
Casanare	17	6,9%
Putumayo	17	6,9%
Risaralda	17	6,9%
Valle	17	6,9%
Boyacá	13	5,3%
Santander	13	5,3%
Antioquia	12	4,9%
Huila	12	4,9%
Caquetá	10	4,1%
Chocó	10	4,1%
Cesar	9	3,7%
Bolívar	8	3,3%
Córdoba	7	2,9%
Cundinamarca	7	2,9%
Tolima	7	2,9%
Magdalena	6	2,4%
Caldas	5	2,0%
Guajira	5	2,0%
Cauca	4	1,6%
Nariño	3	1,2%
Quindío	3	1,2%

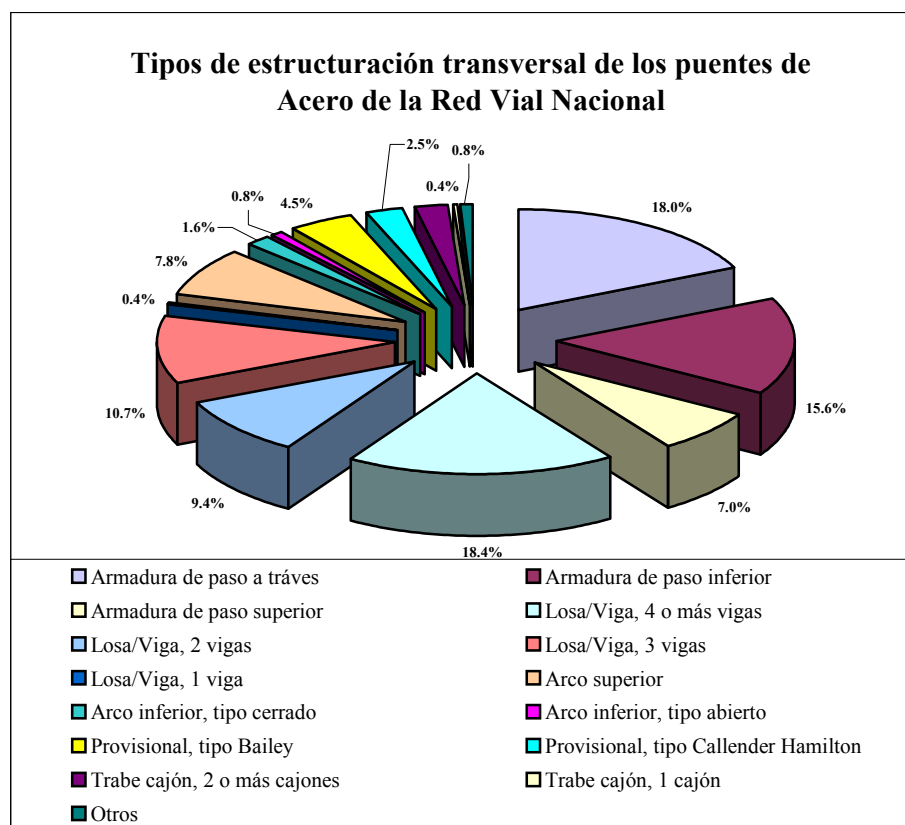


Figura 4: Tipo de estructuración transversal de los puentes de acero de la Red Vial Nacional.



Foto 1: Losa/Viga, 4 o más Vigas. Puente Agua Blanca (Regional Norte de Santander).



Foto 2: Armadura de paso a través. Puente Bodoquero (Regional Caquetá).



Foto 3: Armadura de paso inferior. Puente Salgar (Regional Tolima).



Foto 4: Losa/Viga 2 Vigas. Puente Chirajara (Regional Meta).



Foto 5: Losa/Viga, 3 Vigas. Paso Elevado Sur Tulua (Regional Valle).



Foto 6: Armadura de paso superior. Puente Cajamarca (Regional Tolima).



Foto 7: Arco Superior. Puente Gustavo Matamoros D'Costa (Regional Casanare).



Foto 8: Provisional Tipo Bailey. Puente Argelino Duran Quintero (Regional Huila).



Foto 9: Provisional Tipo Callender. Puente El Barbudo (Regional Choco).



Foto 10: Trabe Cajón, 2 o más cajones. Puente Guillermo León Valencia (Regional Río Cauca - Valle).



Foto 11: Arco inferior tipo abierto. Puente la Florida (Regional Quindío).



Foto 12: Arco inferior tipo cerrado. Puente el Dormilón (Regional Antioquia).



Foto 13: Pórtico Sección variable. Puente Sisga (Regional Cundinamarca).



Foto 14: Puente Atirantado. Gambote (Regional Bolívar).

Tabla 2: Tipología de estructuración longitudinal y tipo de juntas de expansión.

TIPO DE ESTRUCTURACIÓN LONGITUDINAL			JUNTA DE EXPANSIÓN		
Simplemente apoyado, sección constante	150	61%	Placa de acero	25	10%
Simplemente apoyado, sección variable	44	18%	Placa de acero cubierta de asfalto	5	2%
Viga continua, sección constante	13	5%	Placas verticales/Ángulos de Acero	74	30%
Viga continua, sección variable	7	3%	Junta dentada	38	16%
Viga Gerber, sección constante	0	0%	Acero con sello fijo neopreno	0	0%
Viga Gerber, sección variable	1	0.4%	Acero con neopreno comprimido	0	0%
Pórtico, sección variable	3	1%	Bloque de neopreno	3	1%
Colgante	19	8%	No dispositivo de junta	57	23%
Atirantado	7	3%	Otro	0	0%
			No Aplica	0	0%
			Desconocido	0	0%

Tabla 3: Tipos de apoyos en los estribos de los puentes metálicos.

APOYO FIJO EN EL ESTRIBO			APOYO MOVIL EN EL ESTRIBO		
Junta	24	10%	Junta	6	2%
Balancín de concreto	1	0%	Balancín de concreto	0	0%
Placas de Neopreno	14	6%	Placas de Neopreno	38	16%
Apoyo fijo de acero	116	47%	Apoyo fijo de acero	9	4%
Apoyo deslizamiento (acero)	6	2%	Apoyo deslizamiento (acero)	18	7%
Balancín de acero	8	3%	Balancín de acero	33	13%
Apoyos de rodillo (acero)	9	4%	Apoyos de rodillo (acero)	54	22%
Basculante	0	0%	Basculante	4	2%
Otra	4	2%	Otra	3	1%
No Aplica	58	24%	No Aplica	75	31%
Desconocido	1	0%	Desconocido	1	0%
No registrado	3	1%	No registrado	3	1%

DAÑOS TÍPICOS DE LOS PUENTES DE ACERO

De acuerdo con la información suministrada por el Invia y después de una evaluación estadística de los resultados de las inspecciones de los puentes (2001 -2002), se encontró que el **56%** de las estructuras están en buen estado (calificaciones 0, 1, 2), el **29%** en condiciones regulares con daños significativos (calificación 3) y el **12%** restante con daños graves o con riesgo de colapso (calificación 4 y 5), los cuales han requerido reparaciones urgentes e inmediatas. También se presenta en la Figura 5 la evolución del estado de los puentes en las dos inspecciones realizadas por la Entidad (1996-1997 y 2001-2002), donde se evidencia una mejoría en la durabilidad y una disminución de los daños, gracias a las labores de seguimiento (inspección rutinaria), mantenimiento y rehabilitación emprendidas por el Invia.

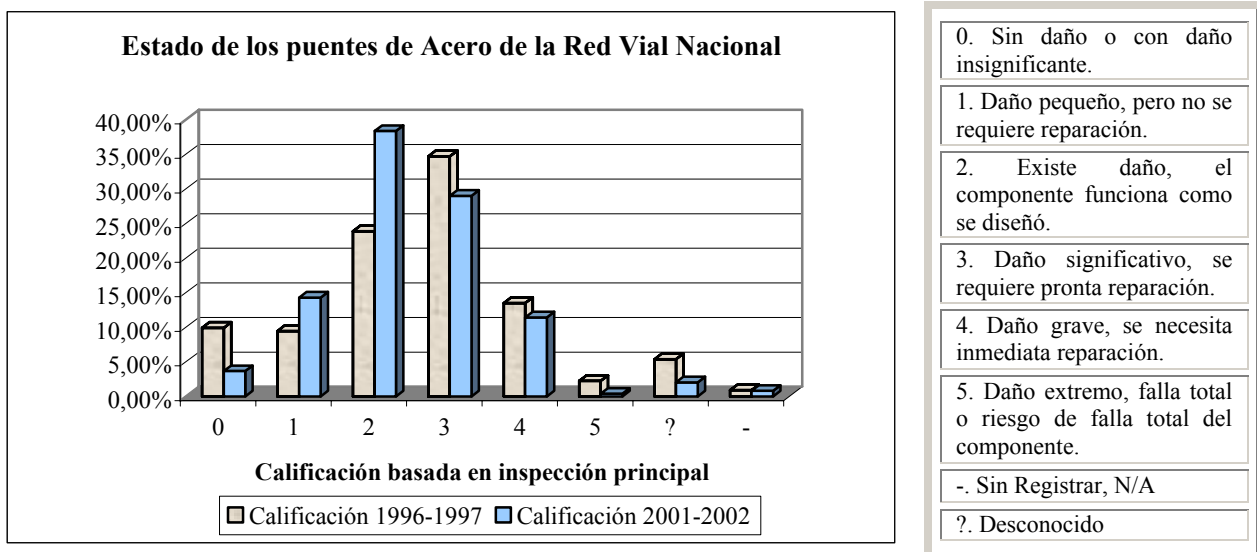


Figura 5: Evaluación del estado de los puentes de acero.

A continuación se describe el resultado de las dos inspecciones realizadas en algunos componentes de los puentes metálicos. En la segunda inspección, ejecutada durante los años 2001-2002, se observa que el porcentaje de los puentes con calificaciones 3, 4 y 5 disminuyeron en un **9 %**, y el número de puentes con calificación de 2 o menos aumentaron en un **13%**. En las Tablas 4, 5 y 6 se presentan la evaluación del estado de los componentes: superficie de rodadura, juntas de expansión, pilas, apoyos, losa, vigas, elementos de arco, cables, pendolones y elementos de armadura, basada en las inspecciones realizadas desde 1996 hasta la fecha.

SUPERFICIE DEL PUENTE

En los puentes con superestructura solamente en acero, se ha observado en general láminas sueltas, desajustadas y fisuradas, debido a los problemas de fatiga de las uniones soldadas, en muchos casos intermitentes y de regular calidad. En algunos casos no existe, o se encuentra muy deteriorada, la superficie de rodadura en los terraplenes de acceso para estos puentes (Foto 15). Para los de superestructura mixta, hay placas prefabricadas en concreto con fisuras transversales y longitudinales, superficies en madera deterioradas (Foto 16) y bases estabilizadas en mal estado (Foto 17). En los de superficie de rodadura en asfalto hay desconches y baches generalizados en la carpeta (Foto 18) y además fisuras tipo cocodrilo. Todo debido al desnivel y al mal manejo de las aguas de escurrimiento sobre los tableros (Fotos 15 y 19). Los principales daños encontrados en las inspecciones de acuerdo con lo expuesto en la Tabla 4, corresponden a la falta de capacidad estructural (**26%**, 2001-2002) y descomposición (**40%**, 2001-2002), lo cual se relaciona por el aumento de las cargas por eje de tráfico. Los ingenieros inspectores han recomendado hacer inspecciones especiales para la revisión del diseño de la carpeta de rodadura, para el **18%** en 1996-1997 y el **23%** en 2001-2002. Al comparar las inspecciones realizadas en los dos periodos, se concluye que el deterioro y daños han disminuido en un **9 %** debido al mantenimiento y obras de rehabilitación hechas por la Entidad.

Los ingenieros responsables de la inspección, han recomendado como reparaciones, cambio total de la superficie de pavimento (**33%**) y de concreto (**27%**). Además hacer un tratamiento superficial y para las de sistema de láminas, asegurar los tornillos del anclaje del tablero y rediseño de los sistemas de uniones soldadas (**21%**).



Foto 15: Empozamiento de agua y deterioro del terraplén. Puente la Playa (Chocó).



Foto 16: Superficie en madera deteriorada. Puente Río Balsillas (Huila).



Foto 17: Base estabilizada en mal estado. Puente El Sábalo (Putumayo).



Foto 18: Baches y empozamiento de agua. Puente Chirajara (Meta).



Foto 19: Deterioro de la carpeta por Empozamiento de agua e insuficiencia de drenes. Puente López (Norte de Santander).



Foto 20: Sin superficie de rodadura en terraplén. Puente Cubugón (Norte de Santander).

JUNTAS DE EXPANSIÓN

En los puentes de superestructura mixta, los problemas más comunes en las juntas de expansión son la infiltración, descomposición (Fotos 21 y 24), fractura del concreto aledaño a las juntas (Foto 23), agrietamiento en forma de panel y desprendimiento generado por el asentamiento en los terraplenes de acceso, que conlleva a un aumento del impacto (Foto 25). En los puentes de acero se presentan problemas de infiltración, corrosión y fractura de juntas de ángulo y platinas de acero, pérdida de la placa de acero superior por uniones inadecuadas consistente en soldaduras de filete intermitentes. En general, la mayoría de las juntas de los puentes en Colombia tienen problemas de diseño estructural, lo

que genera un funcionamiento inadecuado y la descomposición del concreto aledaño a las juntas. En la Tabla 4 se presenta un resumen de los tipos de daños con su respectivo porcentaje. Debido a las obras de rehabilitación y mantenimiento realizadas por el Invias, se encontró que el estado de las juntas ha mejorado, ya que los daños graves (calificación 4 y 5) disminuyeron del **12%** en 1996-1997 al **6%** en el 2001-2002 (véase la Tabla 4).

Entre las reparaciones recomendadas están: mantenimiento menor y sellado de juntas para impedir infiltración (**36%**), el cambio de la junta de acero (**28%**), el cambio a una junta de goma asfáltica de acuerdo con las condiciones específicas del sitio (**8%**) y mejoramiento de los terraplenes de acceso para evitar asentamientos (**28%**).



Foto 21: Problemas de asentamiento en terraplén de acceso y descomposición de junta dentada. Puente San Pablo (Chocó).



Foto 22: Falla estructural de junta. Puente Río Upía (Meta).



Foto 23: Descomposición del concreto cerca de la junta. Puente el Mestizo (Norte de Santander).



Foto 24: Falla de junta dentada. Puente Dos Ríos (Cauca).



Foto 25: Problemas de impacto e infiltración en las juntas. Puente Río Caquetá (Putumayo).

PILAS

El **64%** de los puentes en acero y de sección mixta tienen pilas en concreto reforzado, con daños principales debidos a la infiltración generada por juntas con dispositivos inadecuados y deficiencia estructural detectada por la presencia de fisuras y grietas en las vigas cabezales y columnas. Además, presentan humedad generalizada debido a drenes cortos (no inclinados) en la losa, que generan corrosión tanto en los elementos de la superestructura como en las pilas. También se presenta socavación local, general e inestabilidad del cauce, que afecta la cimentación de las pilas y pone en riesgo su estabilidad estructural (véase la Tabla 4). Se recomendaron para el **23%** de los puentes, inspecciones especiales y estudios integrales, con el objeto de revisar el comportamiento sísmico resistente y verificar los problemas de socavación en las pilas.

APOYOS

El daño típico más frecuente es la corrosión generalizada en los apoyos (**48%** en 1996-1998 y el **43%** en 2001-2002 – véase la Tabla 5), como se observa en las Fotos 26, 27, 29, 30, 32 y 34. Esta corrosión es causada por la falta de control de la infiltración (**10%** en 2001-2002 y el **22%** en 1996-1998 – véase la Tabla 5), debido en muchos casos a que se tienen dispositivos de juntas no adecuados (Fotos 30 y 33) y la falta de mantenimiento. Se ha encontrado además desviación horizontal (Foto 26), desplome, inestabilidad de las mecedoras y la inclinación de los apoyos de balancín. También ha afectado el estado de los apoyos, el aumento del impacto y un detallado regular, encontrando fallas en las soldaduras de conexión. Por último se ha detectado falta de remaches y/o pernos, platinas y pérdida de la sección de tornillos (Foto 28) que disminuyen su vida útil. Al comparar las inspecciones realizadas en los dos periodos por la Entidad (véase las calificaciones en la Tabla 5), se recomienda aumentar el mantenimiento rutinario, las inspecciones especiales y las obras de rehabilitación de estos componentes.

Las principales reparaciones recomendadas por los ingenieros encargados han sido el mantenimiento rutinario: limpieza y pintura (79%), cambio de los apoyos (9%) y corrección de la posición (7%) entre otras.

Tabla 4: Evaluación del estado de los componentes superficie del puente, juntas de expansión y pilas de los puentes metálicos de la Red Vial Nacional.

Calificación	Superficie del puente		Juntas de expansión		Pilas	
<i>Fecha de la inspección→</i>	96-97	01-02	96-97	01-02	96-97	01-02
Bueno (0-1-2)	69%	83%	53%	63%	78%	84%
Regular (3)	20%	11%	14%	14%	2%	8%
Malo (4-5)	6%	5%	12%	6%	4%	1%
No Aplica (N/A)	4%	0%	20%	16%	15%	6%
Desconocido (?)	1%	0%	1%	2%	1%	1%
% de Inspección Especial Requerido	18%	23%	15%	18%	31%	23%
Tipo de Daño	Superficie del puente		Juntas de expansión		Pilas	
<i>Fecha de la inspección→</i>	96-97	01-02	96-97	01-02	96-97	01-02
<i>Daño estructural</i>	43%	26%	13%	7%	0%	16%
<i>Vibración</i>	0%	1%	0%	0%	33%	0%
<i>Impacto</i>	4%	3%	32%	24%	0%	8%
<i>Asentamiento o movimiento</i>	0%	5%	3%	1%	0%	5%
<i>Erosión y socavación</i>	0%	0%	0%	0%	67%	3%
<i>Corrosión acero estructural</i>	1%	0%	0%	1%	0%	8%
<i>Faltan remaches y/o pernos</i>	0%	0%	0%	1%	0%	0%
<i>Daño concreto/corrosión refuerzo</i>	0%	1%	0%	1%	0%	0%
<i>Daño del concreto y acero expuesto</i>	0%	2%	0%	1%	0%	11%
<i>Descomposición</i>	20%	40%	7%	3%	0%	0%
<i>Infiltración</i>	9%	2%	28%	40%	0%	41%
<i>Otros</i>	23%	19%	18%	23%	0%	8%
<i>Tamaño de la muestra con daños</i>	79	136	76	120	3	37



Foto 26. Corrosión y movimiento horizontal en el apoyo. Puente Icel Mocoa (Putumayo).



Foto 27 Corrosión y deterioro del apoyo. Puente Dos Ríos (Cauca).



Foto 28 Falla del apoyo. Puente Río Timbío (Cauca).



Foto 29: Corrosión y falta de alineamiento en el apoyo. Puente Tutunendo (Chocó).



Foto 30: Corrosión producida por infiltración y desagüe de la armadura. Puente Certegui (Choco).



Foto 31: Apoyo tipo rodillo inadecuado desde el punto de vista sísmico. Puente Francisco de Paula Santander (Huila).



Foto 32: Corrosión generalizada en el apoyo. Puente Fragua Chorroso (Caquetá).



Foto 33: Humedad y falta de mantenimiento Puente el Limón (Meta).



Foto 34: Corrosión en el apoyo. Puente la Unión (Norte de Santander).

LOSA

En los puentes de superestructura mixta, donde la losa es en concreto reforzado, se encontraron (Foto 40) hormigueros generalizados, aceros expuestos, falta de recubrimiento y fisuras estructurales y no estructurales (Foto 43). Además, por la inadecuada localización y construcción de los drenes (cortos y no inclinados), se ha generado infiltración y se observan en general eflorescencias y descomposición del concreto. (Foto 39). Existen también deficiencias en la construcción, como se observa en la Foto 42. En los puentes con superestructura en acero, los problemas más comunes son la infiltración y la fractura de las soldaduras que unen el piso metálico con las vigas longitudinales, lo que genera láminas levantadas (Foto 38). Además se han identificado problemas de corrosión generalizada (Foto 41). Por las obras de rehabilitación y mantenimiento, se encontró que el estado de la losa ha mejorado, ya que los daños significativos (calificación 3) disminuyeron del **13%** en 1996-1997 al **9%** en el 2001-2002 (véase la Tabla 5). Los ingenieros inspectores han recomendado mayores inspecciones especiales y auscultación profunda de este componente, especialmente para evaluar su capacidad de carga.



Foto 35: Falla de laminas por inadecuada soldadura. Puente Tobasía (Boyaca).



Foto 36: Problemas de infiltración y descomposición del concreto, por drenes cortos. Puente Río Cabi (Choco).



Foto 37: Acero expuesto y falta de recubrimiento. Puente Luis Ignacio Andrade (Tolima).



Foto 38: Falla de laminas por inadecuada soldadura. Puente Tobasía (Boyaca).



Foto 39: Problemas de infiltración y descomposición del concreto, por drenes cortos. Puente Río Cabi (Choco).



Foto 40: Acero expuesto y falta de recubrimiento. Puente Luis Ignacio Andrade (Tolima).



Foto 41: Problemas de corrosión y falla estructural. Puente el Limón (Meta).



Foto 42: Deficiencias en la construcción. Puente Paso Real (Antioquia).



Foto 43: Fisuras reticulares y eflorescencias, corrosión del acero. Drenes tapados por sobrecarpeta. Puente Quebrada Anchique (Huila).

VIGAS, LARGUEROS Y DIAFRAGMAS

La corrosión generalizada (Fotos 41 y 42) o parcial es el daño principal de las vigas, largueros y diafragmas: **57%** en 1996-1998 y el **65%** en 2001-2002 (véase la Tabla 5). Además, se halló una falta de tensión de los elementos de arrostramiento inferior, y grietas a flexión en vigas transversales y longitudinales por la falta de capacidad de carga, como se observa en la Foto 43. Otro de los problemas comunes es la infiltración que afecta el estado de los diafragmas intermedios y vigas debido al diseño inadecuado de los drenes. Hay también problemas de vibración excesiva y elementos faltantes o pérdida de sección en pernos y/o remaches por el fenómeno de corrosión. (véase la Tabla 5). Basado en la evaluación de los dos periodos de inspección, se encontró que el estado de este componente no ha mejorado, ya que los daños significativos (calificación 3) aumentaron del **11%** en 1996-1997 al **13%** en 2001-2002 (véase la Tabla 5) e igualmente la recomendación de inspección especial (estudios especializados) del **15%** en 1996-1997 al **22%** en 2001-2002. Lo anterior se debe a la incertidumbre de la capacidad de carga de estos componentes principales de los puentes, que tienen gran parte de la responsabilidad estructural, acompañada del aumento de las cargas de tráfico que circulan por el país. Los ingenieros responsables de la inspección han recomendado la limpieza y pintura de los componentes de acero (**53%**), reparación de los componentes (apretar uniones en vigas transversales y mantenimiento) (**24%**), cambio de vigas de acero y templetes.



Foto 44: Corrosión generalizada y pandeo local en aleta inferior. Puente Acaecito (Putumayo).



Foto 45: Corrosión e impacto, generó disminución de sección de viga. Puente Muros (Boyacá).

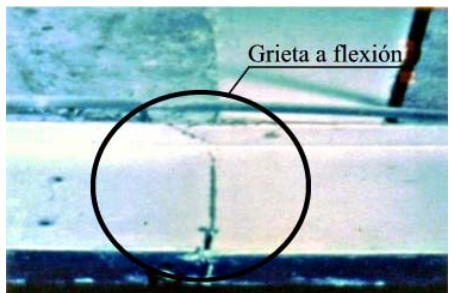


Foto 46: Falla a flexión en viga transversal de puente de armadura. Puente Regional Risaralda.

Tabla 5: Evaluación del estado de los apoyos, losa y vigas, largueros y diafragmas de los puentes metálicos de la Red Vial Nacional.

Calificación	Apoyos		Losa		Vigas/ largueros/ diafragmas	
<i>Fecha de la inspección →</i>	96-97	01-02	96-97	01-02	96-97	01-02
Bueno (0-1-2)	71%	82%	70%	81%	64%	73%
Regular (3)	12%	11%	13%	9%	11%	13%
Malo (4-5)	3%	3%	4%	3%	5%	5%
No Aplica (N/A)	11%	4%	13%	6%	18%	9%
Desconocido (?)	4%	0%	1%	1%	2%	1%
% de Inspección Especial Requerido	18%	24%	14%	18%	15%	22%
Tipo de Daño	Apoyos		Losa		Vigas, largueros, diafragmas, etc.	
<i>Fecha de la inspección →</i>	96-97	01-02	96-97	01-02	96-97	01-02
<i>Daño estructural</i>	15%	7%	17%	16%	11%	15%
<i>Vibración</i>	0%	1%	0%	1%	6%	4%
<i>Impacto</i>	0%	3%	3%	3%	9%	2%
<i>Asentamiento o movimiento</i>	10%	5%	0%	0%	2%	0%
<i>Erosión y socavación</i>	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<i>Corrosión acero estructural</i>	48%	43%	7%	1%	57%	65%
<i>Faltan remaches y/o pernos</i>	2%	2%	0%	0%	2%	1%
<i>Daño concreto/corrosión refuerzo</i>	0%	1%	2%	8%	0%	2%
<i>Daño del concreto y acero expuesto</i>	2%	2%	20%	22%	6%	2%
<i>Descomposición</i>	4%	1%	2%	3%	0%	2%
<i>Infiltración</i>	10%	22%	44%	44%	3%	5%
<i>Otros</i>	10%	14%	4%	1%	5%	3%
<i>Tamaño de la muestra con daños</i>	52	109	90	146	65	130

ELEMENTOS DE ARCO

Los principales daños encontrados en los elementos de arco son la corrosión y el mal detallado estructural de los atiesadores verticales y horizontales (Foto 44). Hay también vibraciones excesivas producidas por el aumento del impacto y grietas diagonales en la unión entre los elementos transversales y los arcos. Además se observa el impacto y la pérdida de tuercas en las láminas y atiesadores con uniones incompletas y deficiencias en la soldadura (Foto 45 y Tabla 6). En general, se han observado detalles de refuerzos inadecuados porque no tuvieron en cuenta el fenómeno de la fatiga y algunas de las platinas adicionales no tienen la transición adecuada que eviten la concentración de esfuerzos. Después del colapso del puente Pescadero en 1996, la Entidad realizó una labor urgente e importante, ya que ejecutó inspecciones de emergencia, labores de refuerzo y la rehabilitación a la mayor parte de los puentes en arco de la Red Vial Nacional.

Las reparaciones recomendadas son la limpieza y mantenimiento general (70%) y la pintura de los elementos para evitar oxidación y/o corrosión (30%).



Foto 47: Corrosión y refuerzo inadecuado. Puente Quebrada Blanca (Meta).



Foto 48: Deficiencias en soldadura. Puente Quebrada Blanca (Meta).

CABLES, PENDOLONES Y TORRES

La deficiencia estructural y la corrosión generalizada o parcial, corresponden a los daños típicos más frecuentes de estos componentes. Se encuentra una falta de alineación de los cables y pendolones, corrosión (Fotos 46 y 47), fisuras por retracción en la superficie de los muertos de anclajes, fisuras transversales a la directriz de la pieza en los pendolones (tracción directa), falta de tensión de los cables extremos en las torres y falla en los alambres (Foto 48 y Tabla 6). También son comunes los problemas de la pintura, tensionamiento de los elementos, platinas dobladas por impacto e infiltración (acumulación de humedad en los macizos de anclaje, oxidación superficial en las mordazas) y la pérdida del recubrimiento del concreto de los cables. En general, se recomienda una revisión estructural de la capacidad de este componente.

Las reparaciones recomendadas son reemplazo de pernos, mantenimiento general, pintura anti-corrosiva en cables; mantenimiento menor y reparación de los componentes de acero (8%).



Foto 49: Corrosión. Puente La Balsa (Meta).



Foto 50: Corrosión interna en cables principales de catenaria. Puente Domenico Parra (Caldas).



Foto 51: Catenaria principal con falla en los alambres. Puente Domenico Parra (Caldas).

ELEMENTOS DE ARMADURA

El daño más frecuente en los elementos de armadura es la corrosión (en diagonales, verticales, transversales y en las uniones), debida principalmente a los problemas de infiltración y a la falta de mantenimiento. (Fotos 49, 52 y 54). Otro problema común es el impacto vehicular en el cordón superior y los portales de acceso, lo cual pone en riesgo la estabilidad del puente en general (Foto 51). Además se han detectado problemas estructurales, con deflexiones excesivas, pasadores sin seguro, refuerzos incompletos que no llegan los nudos, contraventeos deformados, elementos alabeados, pandeo local (Foto 53), soldaduras con defectos y discontinuas en elementos sometidos a tensión. Fisuras por cortante en vigas ensambladas, eficiencia en uniones, falta de pernos evidenciando problemas de vibración y probable fatiga (Foto 50). Al comparar las inspecciones realizadas en los dos periodos por parte de la Entidad, se encontró que el estado de este componente no ha mejorado, ya que los daños graves (calificación 4 y 5) aumentaron del 3% en 1996-1997 al 6% en 2001-2002 (Ver Tabla 6). Además se recomiendan inspecciones especiales (estudios especializados), con el objeto de evaluar mediante ensayos especializados los problemas de corrosión, fatiga y capacidad carga de estas estructuras.



Foto 52: Corrosión generalizada en unión mediante remaches. Puente El pescado.



Foto 53: Falta de pernos, problemas de vibraciones y fatiga.



Foto 54: Impacto en el cordón superior que afecta estabilidad general del puente.



Foto 55: Corrosión en cordón inferior generalizada.



Foto 56: Pandeo Local en cordón superior. Puente Saldaña (Tolima).



Foto 57: Corrosión y falta de pernos en el cordón inferior. Puente Dos Ríos (Cauca).

Entre las reparaciones recomendadas más comunes están la limpieza y pintura de la estructura (34%), el reemplazo de pernos, remaches y abrazaderas defectuosas (10%), reparación de los componentes de acero (23%) y la reposición de elementos faltantes (16%).

Tabla 6: Evaluación del estado de los elementos de arco, cables, pendolones y elementos de armadura.

Calificación	Elementos de Arco		Cables, torres, pendolones, etc.		Elementos de armadura	
<i>Fecha de la inspección →</i>	96-97	01-02	96-97	01-02	96-97	01-02
Bueno (0-1-2)	9%	9%	12%	9%	47%	38%
Regular (3)	0%	1%	2%	1%	19%	11%
Malo (4-5)	0%	0%	1%	2%	3%	6%
No Aplica (N/A)	91%	90%	84%	87%	29%	45%
Desconocido (?)	0%	0%	1%	0%	2%	1%
% de Inspección Especial Requerido	1%	2%	2%	2%	9%	9%
Tipo de Daño	Elementos de Arco		Cables, torres, pendolones, etc.		Elementos de armadura	
<i>Fecha de la inspección →</i>	96-97	01-02	96-97	01-02	96-97	01-02
Daño estructural	0%	8%	8%	31%	10%	16%
Vibración	0%	25%	0%	0%	7%	6%
Impacto	0%	8%	25%	13%	30%	17%
Asentamiento o movimiento	0%	17%	8%	0%	0%	0%
Erosión y socavación	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Corrosión acero estructural	33%	33%	25%	31%	30%	49%
Faltan remaches y/o pernos	0%	0%	0%	6%	11%	8%
Daño concreto/corrosión refuerzo	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Daño del concreto y acero expuesto	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Descomposición	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Infiltración	0%	0%	17%	0%	0%	0%
Otros	67%	8%	17%	19%	13%	3%
Tamaño de la muestra con daños	3	12	12	16	71	86

CONCLUSIONES

Con base en el estudio y la evaluación estadística de las inspecciones de los puentes de acero, se encontró que los componentes con mayores daños, son las juntas de dilatación (Malo en un 12%-1996-1997), los apoyos (Malo en un 3% - 2001-2002) y los elementos de armadura (Malo en un 6%-2002-2003). Se observa que los daños más frecuentes

detectados en los componentes mencionados en este documento son la corrosión, infiltración, impacto, deficiencia estructural y mal detallado estructural de las uniones (especialmente las soldadas) y los elementos.

Por último, es claro que los daños y deficiencias han disminuido, gracias a las labores del INVIAS, dando apoyo y continuidad a las inspecciones, el mantenimiento y la rehabilitación, dentro de SIPUCOL. En las inspecciones realizadas se recomendaron, en general, estudios especializados de los puentes de acero de la Red Vial Nacional, ya que se requiere profundizar y aclarar el tipo de daño mediante ensayos destructivos y no destructivos, y evaluar las diferentes alternativas de reparación. Para mejorar el estado de los puentes, se recomienda como trabajo futuro que la entidad invierta en investigación en los siguientes temas básicos:

- Investigación y evaluación del fenómeno de la corrosión en elementos a tensión.
- Investigación detallada del fenómeno de fatiga de elementos y uniones de acero, acompañada de ensayos pseudo-dinámicos, metalúrgicos e instrumentación de puentes.
- Implementación de metodologías modernas de inspecciones visuales, mediante el uso de equipos especializados.
- Auscultaciones profundas con los más recientes equipos para evaluación de la patología (Microscopio de detección de grietas, extensómetro, prueba capo, prueba rápida de cloruros, carbonatación, equipo para monitoreo de grietas, equipos de ultrasonidos para detectar recubrimiento y refuerzo, ensayos de adherencia, etc.)
- Metodologías de evaluación de capacidad de carga con técnicas de confiabilidad estructural y estudio de la fatiga para puentes de acero.
- Estudios especializados de socavación.

REFERENCIAS

- Castaño, B. E. y Correal, D. (1997). “Puentes en Colombia”, *Revista Notas Gerenciales de la Pontificia Universidad Javeriana*.
- Daza, R. D. y Salazar G. F. (2001). “Metodología de evaluación de puentes metálicos”, Director Edgar Muñoz, Tesis para obtener título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Instituto de Soldadura (West-Arco) (1998). “Tecnología de inspección de soldadura”, *Curso de Inspección de soldadura*.
- Invias y DCD (1996). “Manual de inventario de puentes”, *Proyecto Invias y Directorado de Carreteras de Dinamarca*, Bogotá, Colombia.
- Invias y DCD (1996a). “Manual de inspección principal de puentes”, *Proyecto Invias y Directorado de Carreteras de Dinamarca*, Bogotá, Colombia.
- Invias y DCD (1996b). “Manual de inspección especial de puentes” *Proyecto Invias y Directorado de Carreteras de Dinamarca*, Bogotá, Colombia.
- Invias y DCD (1996c). “Base de datos - SIPUCOL - 1996”, *Proyecto Invias y Directorado de Carreteras de Dinamarca*, Software v1.0, Bogotá, Colombia.
- Invias y DCD (2001). “Base de datos - SIPUCOL - 2001”, *Proyecto Invias y Directorado de Carreteras de Dinamarca*, Software v2.0, Bogotá, Colombia.
- Muñoz, E.E. (2001). “Estudio de las causas del colapso de algunos puentes de Colombia”. *Ingeniería y Universidad*, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Muñoz, E.E., Valbuena, E.A., y Hernández, R. (2004). “Estado y daños típicos de los puentes de la red vial nacional, basados en inspecciones principales”, *II Jornadas de Ingeniería Civil en Cuba*, Santiago de Cuba.
- Sociedad Colombiana de Ingenieros (1994). “Investigación sobre las posibles causas del colapso del puente Los Ángeles”.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan agradecimiento, por la revisión, el apoyo y la información suministrada por los ingenieros Luz Marina Trujillo y Libardo Santacruz, funcionarios del Instituto Nacional de Vías Colombia.